

3축 로드 시뮬레이터의 링크부의 동특성 및 FEM 해석에 관한 연구

박용래*(조선대 대학원), 정상화(조선대), 류신호(조선대 대학원),

A Study on the Dynamic Characteristics and Finite element analysis of 3-axis road simulator link unit

Y. R. Park(Graduate School Chosun), S. H. Ryu(Graduate School Chosun), S. H. Jeong(Chosun Univ.),

ABSTRACT

As the life cycle of the vehicle become shorter, the method that reduce the development time of new model become more important. In this reason, the development of the simulator that provides similar environment with the actual vehicle load characteristics is increasing. In this paper, the link unit of the 3-axis road simulator is designed and simulated with dynamic analysis software ADAMS. and the maximum stress and strain are analyzed for the safety of link and specifications of optimal design using finite element method.

Key Words : 3-axis road simulator(3축 로드 시뮬레이터), Dummy wheel(더미 휠)

1. 서론

차량, 항공기 그리고 각종 기계 구조물에 대한 진동 평가나 설계를 위한 실제 실험은 비용이나 실험 환경 등에 있어 많은 제한을 받게 된다. 그러므로 실제 운동조건과 같은 환경을 제공하는 다축 로드 시뮬레이터는 설계나 평가에 있어 대단히 편리하면서도 경제적인 이점을 제공하여 준다. 일반적으로 자동차의 경우 설계에서부터 개발, 실험에 이르기까지 막대한 비용이 소모되고 있다.¹⁾ 최근 자동차의 신제품 수명 사이클이 짧아짐에 따라 제품 생산비용의 절감뿐만 아니라 제품 설계시간을 줄일 수 있는 방법이 선호되고 있다. 자동차의 실차 실험을 통해 알 수 있는 자동차의 진동 특성을 그와 유사한 환경을 제시해 줄 수 있는 다축 로드 시뮬레이터로 그와 같은 실험을 대체할 수 있다면 다축 로드 시뮬레이터의 개발은 그 응용면에서 상당히 큰 이점이 있다고 하겠다.^{2),3),4)}

본 논문에서는 3축 로드 시뮬레이터의 링크부를 설계하여 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였으며, 링크부의 재질의 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 FEM(finite element method)을 이용하여 최대 응력 및 최대 변형

량을 해석하였다.

2. 3축 로드 시뮬레이터의 구성요소

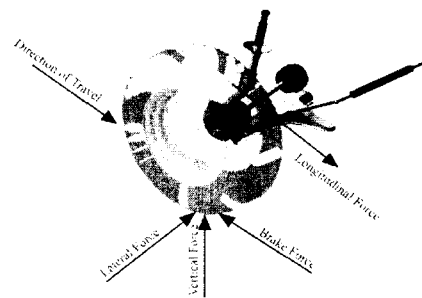


Fig. 1 Loads acting on a wheel

차량이 주행 중에 휠을 통하여 받는 외부요소는 크게 나누어 도로 그 자체의 특성과 운전자의 운전 에 대한 상대적 반작용에 의한 요소로 분리 될 수 있다. 이들 외부요소는 운전자와 승객에게 영향을 미 치며 차량 자체에 어떤 지속적인 손상을 가해줌으로

서 차량의 노후화를 촉진시킨다.

차량이 주행중에 외부로부터 받는 요소들은 요철과 같은 노면의 불규칙성으로 나타나는 연직방향(Y축)의 연직하중, 운전자의 가속도에 의해 차량의 전후방향(X축)으로 발생하는 전후하중, 차량의 제동시 차량의 전후방향으로 발생하는 제동하중과 차량의 선회시나 돌기등을 타이어의 측면이 통과할 때 횡방향(Z축)으로 발생하는 횡하중을 들 수 있다.⁵⁾ Fig. 1은 휠에 작용하는 외부요소를 표시한 것이다.

이러한 힘들은 차량이 주행시 동시에 복합적으로 나타나며 서로 비독립적인 특성을 가지므로 이들의 조합과 재현을 위해서는 유압 액츄에이터 뿐만 아니라 링크부의 동특성, 시뮬레이션 프로그램의 효과적인 활용이 요구된다.

3축 로드 시뮬레이터는 Fig. 2와 같이 4가지의 구성요소를 크게 나눌 수 있다. 휠에 하중이나 변위를 입력변수로 줄 수 있는 유압 액츄에이터와 휠에 3가지 하중이 동시에 부하될 수 있도록 특별히 고안된 더미 휠과 링크부 그리고 액츄에이터에 가진 신호를 보내어 원하는 조건에 추종하도록 제어하는 AC 서보 컨트롤러부, 마지막으로 실제 도로주행 상태의 데이터를 편집, 저장하며 구동신호로 변화시키고 출력된 데이터를 저장, 분석하는 구동 소프트웨어가 구축되어야 한다.

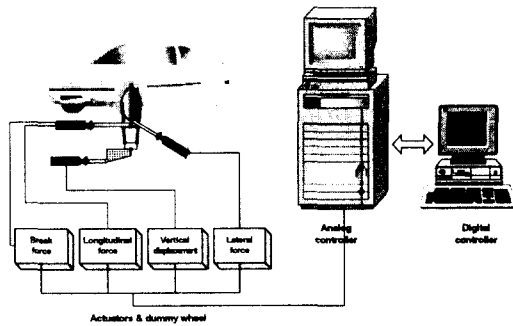


Fig. 2 Configuration of 3-axis road simulator

3. 3축 로드 시뮬레이터 링크부의 구동영역 해석

3축 로드 시뮬레이터에서 시험용 차량에 실제 입력되는 로드 데이터는 연직방향 $\pm 80\text{mm}$, 전후 및 횡방향 $\pm 8\text{mm}$ 정도이다⁶⁾.

본 논문에서는 설계하고자 하는 3축 로드 시뮬레이터에서 로드 데이터를 이용하여 실험실에서 재현이 가능하도록 로드 데이터의 여유행정을 고려하여 최대 거동행정 범위를 연직방향은 $\pm 180\text{mm}$, 전후방향 $\pm 100\text{mm}$, 그리고 횡방향은 $\pm 40\text{mm}$ 로 설정하고,

변위를 기초로 하여 3축 로드 시뮬레이터 링크부를 설계하였다.

3축 로드 시뮬레이터에 사용되는 액츄에이터는 국내에서 보편화된 사양인 최대 행정 $\pm 80\text{mm}$, 동적 최대하중은 각각 $\pm 1100\text{kg}$, $\pm 1450\text{kg}$ 인 액츄에이터를 채택하여 3축 로드 시뮬레이터의 링크부를 설계하였다.

유도되어진 요구조건을 바탕으로 3축 로드 시뮬레이터의 링크부를 설계하였으며, 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 링크부에 액츄에이터를 부착, 구동하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3은 ADAMS에서의 3축 로드 시뮬레이터 링크부의 동특성 해석과정을 나타낸 것이다.

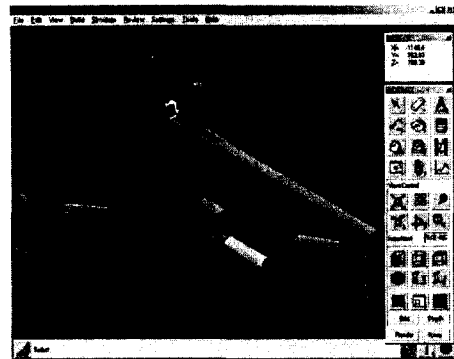


Fig. 3 ADAMS simulation of 3-axis road simulator

Table 1은 ADAMS에서 각 액츄에이터에 변위 $\pm 80\text{mm}$ 의 정현파형으로 구동할때의 시뮬레이션한 결과를 정리한 것이다.

Table 1 Disp. of dummy wheel for ADAM Ssimulation

Direction	X axle(mm)	Y axle(mm)	Z axle(mm)
$\pm 80\text{mm}$ Disp. of x-axle actuator	± 169.36		
$\pm 80\text{mm}$ Disp. of y-axle actuator		± 190.04	
$\pm 80\text{mm}$ Disp. of z-axle actuator			± 42.65
$\pm 80\text{mm}$ Disp. of 3-axle actuator	± 170.5	± 179.41	± 42.02

ADAMS에서 연직축(Y축) 액츄에이터만 최대 변위인 $\pm 80\text{mm}$ 의 정현파형으로 구동시 더미 휠이 연직방향으로 $\pm 190.13\text{mm}$, 전후(X축) 액츄에이터만 구동시 더미 휠이 전후방향으로 $\pm 169.37\text{mm}$, 횡축(Z축) 액츄에이터만 구동시 더미 휠이 횡방향으로 $\pm 42.65\text{mm}$ 의 구동 영역을 나타냈다.

Fig. 4는 ADAMS에서 각 축의 액츄에이터를 동시에 변위 $\pm 80\text{mm}$ 의 정현파형으로 구동할때의 시뮬레이션을 과정을 보여주고 있으며, Fig. 5는 각 액츄에이터를 동시에 구동할 때 더미 휠의 변위변화량을 3차원좌표 그래프로 표현한 것이다. 여기서 x축은 더미 휠의 전후방향의 변위를, y축은 횡방향의 변위를, 그리고 z축은 연직방향의 변위를 나타낸다. 더미 휠의 구동 영역이 연직축 $\pm 179.41\text{mm}$, 전후축 $\pm 170.5\text{mm}$, 횡축 $\pm 42.02\text{mm}$ 이었다.

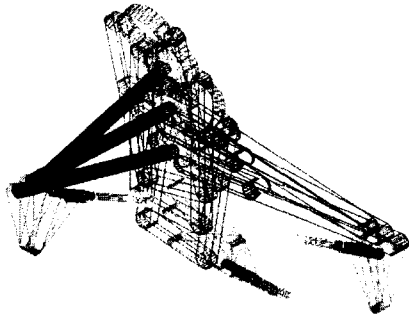


Fig. 4 ADAMS simulation at operating 3-axis actuators

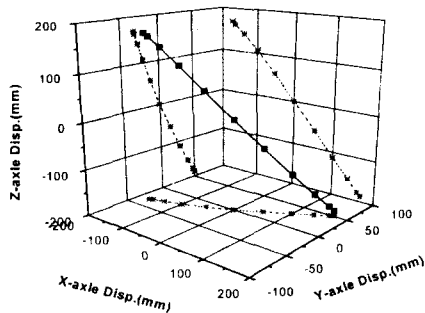


Fig. 5 Displacement of dummy wheel at operating 3-axis actuator

ADAMS에서 각 액츄에이터를 구동시킨 결과, 설계하고자 하는 3축 로드 시뮬레이터의 최대 거동범위인 연직방향 $\pm 180\text{mm}$, 그리고 전후방향 $\pm 100\text{mm}$ 및 횡방향 $\pm 40\text{mm}$ 를 만족함을 알 수 있었다. 또한 실제 입력되는 로드 데이터인 연직방향 $\pm 80\text{mm}$, 전후 및 횡방향 $\pm 8\text{mm}$ 를 충분히 구현할 수 있음을 알 수

있었다.

4. 3축 로드 시뮬레이터 링크부의 FEM 해석

3축 로드 시뮬레이터의 링크부의 재료의 설정과 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 NASTRAN 해석모듈을 이용하여 FEM 해석을 하였다. 3축 로드 시뮬레이터의 경계조건과 하중조건은 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하였다.

경계조건은 하중조건으로 다축 시뮬레이터에 전후, 횡축 액츄에이터의 동적 최대 하중 $\pm 1100\text{kg}$, 연직축 액츄에이터의 동적 최대 하중인 $\pm 1450\text{kg}$ 을 주어 얻은 각 요동절과 링크들의 작용하중으로 하였다.

FEM 해석을 하기 위해 3축 로드 시뮬레이터의 링크부의 모델링은 MDT(Mechanical desktop)를 이용하였으며, FEM해석은 ADAMS에서 구한 경계조건을 바탕으로 Working Model 4D 프로그램 내에 있는 NASTRAN 해석 모듈을 이용하여 FEM 해석을 하였다.

Fig. 6은 각 요동절과 링크들의 모델링과 FEM해석과정을 보여주고 있다.

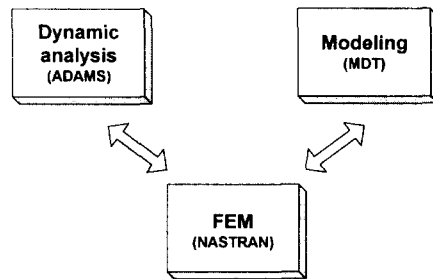


Fig. 6 Process of modeling, dynamic and FEM analysis

링크부의 재료는 보편화된 Steel-ANSI C1020 와 Aluminum Alloy 2024-T3을 사용하여 FEM해석을 한 결과, 최대 응력은 X축 요동절에서, 최대 변형량은 X축 링크에서 일어남을 알 수 있었다.

Steel-ANSI C1020을 링크부 재료로 주었을 경우, 최대 응력이 $0.106 \text{ kg}_f/\text{mm}^2$ 이고, 최대 변형량은 0.0273 mm 이었고, Aluminum Alloy 2024-T3을 링크부 재료로 주었을 경우, 최대 응력이 $0.107 \text{ kg}_f/\text{mm}^2$ 이고, 최대 변형량은 0.0132 mm 이었다.

Fig. 7은 연직 요동절을, Fig. 8은 전후 요동절을, Fig. 9는 횡축 요동절을, Fig. 10은 전후축 링크를, Fig. 11은 횡축 링크를 Working Model 4D에서 FEM 해석하는 과정을 보여주고 있다

5. 결론

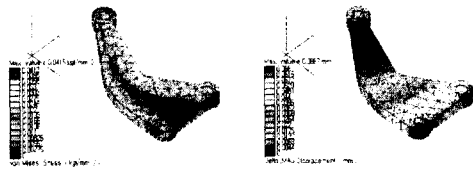
본 연구에서는 시험용 차량에 실제 입력되는 로드 데이터를 바탕으로 3축 로드 시뮬레이터의 링크부를 설계하여 링크부의 동역학적 특성을 파악하기 위해 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 링크부의 재질과 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 FEM 해석을 한 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 설계한 3축 로드 시뮬레이터의 링크부를 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션 결과, 3축 로드 시뮬레이터에서 실제 입력되는 로드 데이터인 연직방향 $\pm 80\text{mm}$, 전후 및 횡방향 $\pm 8\text{mm}$ 를 충분히 구현할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 3축 로드 시뮬레이터의 링크부의 재질과 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 여 FEM 해석을 한 바, 최대 응력은 X축 요동절에서, 최대 변형량은 X축 링크에서 일어남을 알 수 있었다.

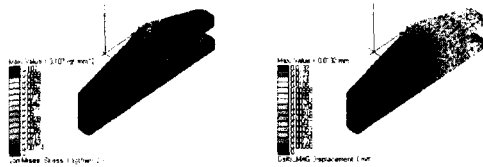
참고 문헌

1. D.H. Weir, S.M. Bourne, An Overview of the Driving simulator, SAE Inc. pp.107-112, 950173
2. J.R. Ellis, Vehicle Handling Dynamics, MEP, pp.89, 1994
3. W.R. Garrott, P.A. Grygier, J.P. Chrstos, K. Salaani, Methodology for Validating the National Advanced Driving Simulator's Vehicle Dynamics (NADSdyna), SAE, 970562, 1997.
4. D.H. Weir, S.M. Bourne, An Overview of the DRI Driving Simulator, SAE Paper 950173, 1995.
5. 김홍섭, 신천우, 차량 주행 상태의 LAB. 재현실험 방법 II, Kia Technical Review, 11, pp.135-144, 1989.
6. 김규하, 車軸 시뮬레이터용 6軸 링크機構의 干涉最小化 設計, 전남대학교 석사 학위논문, 2000.
7. 김영일, 4 Channel Road Simulator, Asia Technical Review, 13:63-74, 1992.
8. K. D. Zell, Overview of Advanced Road Simulation Techniques, SAE Paper 740946, 1974.
9. 최규재, 최성진, 노기환, 유영면, 고성능 Driving Simulator의 기술적 조사 연구, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 242-248, 1997.
10. David H. Weir and Allen J. Clark, A Survey of Mid-Level Driving Simulators, SAE Paper 950172, 1995.



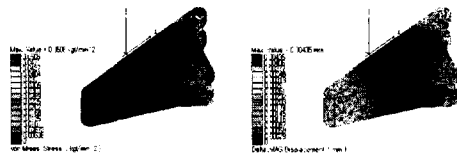
(a) Von-mises stress (b) Maximum displacement

Fig. 7 Process of FEM analysis at y-axle bell crank



(a) Von-mises stress (b) Maximum displacement

Fig. 8 Process of FEM analysis at x-axle bell crank



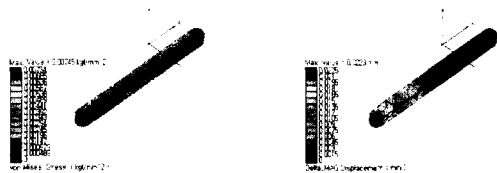
(a) Von-mises stress (b) Maximum displacement

Fig. 9 Process of FEM analysis at z-axle bell crank



(a) Von-mises stress (b) Maximum displacement

Fig. 10 Process of FEM analysis at x-axle link



(a) Von-mises stress (b) Maximum displacement

Fig. 11 Process of FEM analysis at z-axle link